

文章编号:0559-9350(2017)05-0568-08

沟道截断对分布式土壤侵蚀学坡长提取的影响

张宏鸣¹, 杨勤科², 王猛¹, 晋蓓¹, 王雷², 李锐^{1,3}(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710069;
3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 地形是影响土壤侵蚀的重要因子, 分布式土壤侵蚀学坡长是地形因子的重要参数。坡长与侵蚀过程相关, 且受地形影响较大, 在提取过程中, 遇到沟道截断, 坡长不再累计。由于沟头位置较难确定, 通常沟道提取采用设置一定的汇水面积阈值来实现。然而, 沟道对坡长提取结果的影响、不同阈值对坡长提取结果的影响、在无法确定沟头位置情况下如何更加合理地设置截断阈值等问题, 亟待研究。本文以黄土高原县南沟和韭园沟流域 DEM 为数据源, 对沟道引起的坡长截断进行对比分析。结果表明, 沟道截断对坡长提取的平均值影响小于对坡长最大值的影响; 不同区域对坡长的影响小于阈值设置的影响; 黄土高原地区的沟道截断阈值可参考平均坡长降低的变化率为4%来设定。

关键词: 土壤侵蚀; 通用水土流失方程; 地形因子; 侵蚀学坡长; 沟道截断

中图分类号: S157; TP79

文献标识码: A

doi: 10.13243/j.cnki.slxb.20160691

1 研究背景

地形对土壤侵蚀和水土保持措施布设影响较大, 通常将坡度和坡长作为侵蚀模型的地形参数^[1]。坡度问题的研究较多, 但如何在流域尺度上快速、准确地获取坡长一直以来都是困扰土壤侵蚀研究的难题。

坡面水文学^[2]和土壤侵蚀学^[3]研究表明, 降雨侵蚀过程中, 径流携带泥沙从高处向低处流动, 到达坡面下方注入沟槽, 或在低洼部位被拦蓄。从径流起点沿垂直等高线方向到径流终点, 径流所经过路径的水平距离即为坡长。显然, 该坡长与坡面土壤侵蚀过程(包括剥蚀、搬运和沉积)相适应, 在一定条件下停止累计运算(截断), 继而从0重新开始^[4]。如果不考虑截断因素, 坡度线长度与坡长值基本一致。为了方便区分, 本文将土壤侵蚀研究范围中具有累积并截断特征的坡长称为分布式土壤侵蚀学坡长(简称侵蚀学坡长)。侵蚀学坡长在两种情况下截断:(1)当坡度较大幅度变缓以至于发生沉积时, 坡长截断并重新开始计算, 称为坡度截断(Slope Cutoff, SC); (2)清晰可辨的沟道或河网处, 坡面漫流结束因而计算终止, 称为沟道截断(Channel Cutoff, CC)。如图1所示, 水平坐标轴为分水线沿最大坡降线到流水线的距离。考虑两种截断, 在一段坡面中出现两种情形。第一段坡长 λ_1 , 由于坡度变化引起沉积, 坡长截断; 第二段坡长 λ_2 , 由于遇到沟道, 坡长截断。侵蚀学坡长最早是结合对土壤侵蚀因子和预报方程研究进行的^[5], 通用土壤流失方程(Universal Soil Loss Equation, USLE)^[6]、修正的通用土壤流失方程(Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE)^[7]和中国水土

收稿日期: 2016-07-05; 网络出版日期: 2017-03-30

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1882.TV.20170330.1546.001.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301283, 41371274, 41301507); 欧盟地平线 2020 研究与创新计划(GA: 635750); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(A314021402-1702)

作者简介: 张宏鸣(1979-), 男, 蒙古族, 内蒙古赤峰人, 副教授, 博士, 主要从事空间大数据管理, 区域土壤侵蚀评价与数字地形分析研究。E-mail: zhm@nwsuaf.edu.cn

通讯作者: 杨勤科(1962-), 男, 陕西省陇县人, 教授, 主要从事基于RS和GIS技术的区域水土流失评价研究。
E-mail: qkyang@nwu.edu.cn

流失方程(China Soil Loss Equation, CSLE)^[8]中均使用了这个概念。

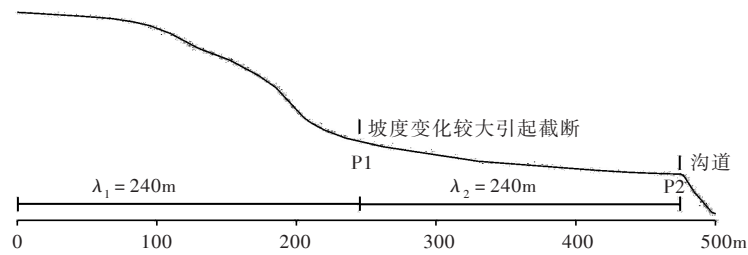


图1 坡长示意图

大区域的土壤侵蚀评价,亟需获取流域尺度的地形因子, Moore和Wilson^[9]、Desmet等^[10]、Winchell^[11]、晋蓓^[12]等先后通过单位汇水面积替换或径流线换算的方法代替坡长进而求得地形因子,这些方法最大的不足在于没有考虑截断问题,无法研究截断参数对侵蚀学坡长的影响^[11]。Hickey^[4]、Van Remortel^[13-14]、杨勤科等^[15]、张宏鸣等^[16-19]、罗红等^[20]尝试从坡长的基本定义出发,在坡长提取过程中考虑起点和终点,获取更加精准的坡长,进而更加精确地估算侵蚀。但由于沟头位置难以确定,通常通过计算汇水面积,设置阈值来提取^[21]。有关于径流长度的误差研究已有报道^[22-23],而流域尺度上,沟道对侵蚀学坡长的影响到底如何,不同阈值的设定会对提取结果带来怎样的变化?这一直是土壤侵蚀研究者关注的难题,但还未见报道。

本文利用县南沟、韭园沟流域,对坡度变化引起的截断不考虑,分别设定不同的沟道网络阈值,分析沟道网络变化对侵蚀学坡长截断结果的影响,旨在为区域尺度提取侵蚀学坡长、地形因子提供参考(为描述方便,分布式侵蚀学坡长均简称为坡长)。

2 研究方法

2.1 提取算法 目前,常用DEM来提取坡长,作为格网文件,坡长与所对应单元格的等高线垂直,且相等^[17]。如果DEM分辨率足够高,则可以认为格网内等高线长度值与该点坡长值相等,但方向垂直。基于此,坡长的计算公式可表示为^[15]:

$$\lambda_{x_i, y_i} = \int_{x_0, y_0}^{x_i, y_j} CSL dx \quad (1)$$

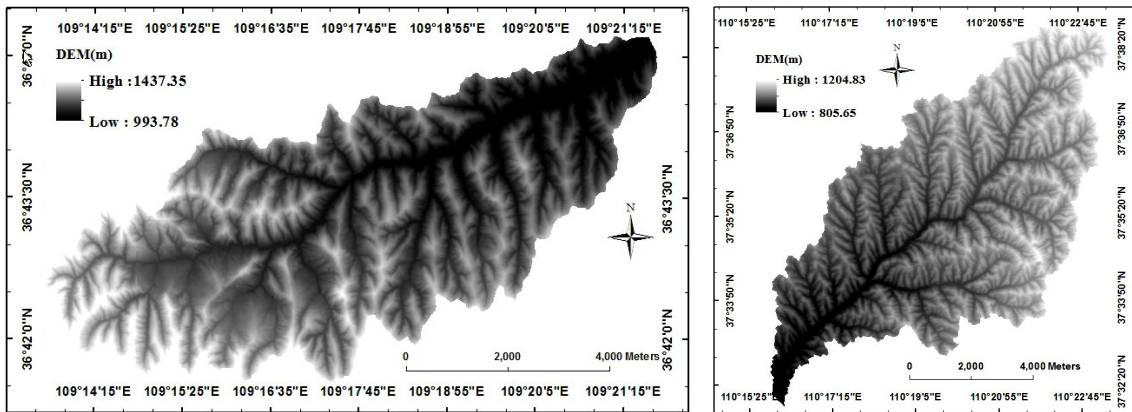
式中: λ_{x_i, y_i} 为坐标点 x_i, y_j 处的坡长; 积分下限和上限 (x_0, y_0) 和 (x_i, y_j) 分别为径流源点和终点; CSL 为单元坡长(Cell Slope Length)。

根据格网的特性,式(1)可被简写为:

$$\lambda_{x_i, y_i} = \sum_{x_0, y_0}^{x_i, y_j} \sum_{k=1}^m k \cdot C \quad (2)$$

式中: C 为栅格边长; k 为单元坡长系数,用于计算单元坡长(由坡向决定)。因此分布式侵蚀学坡长可由以下步骤计算完成:(1)DEM无值点修复及洼地处理;(2)获取坡度和坡向(水流方向),生成坡度和坡向数组;(3)依据坡向数据,计算每一个栅格长度,即单元坡长(CSL);采用D8算法,如果该栅格单元的坡向是东、南、西、北,则 $k=1$, CSL 为栅格长度,如果是东南、东北、西南、西北则 $k=1.414$;(4)遍历步骤(3)产生的坡度和坡向数组,如果当前栅格满足截断条件则该点为坡度截断点;(5)提取坡长,沿着水流方向,累计单元坡长,遇到截断点,停止累计,同时作为新坡长的起点,开始新坡长的累计。本研究在前期研究基础上,只考虑沟道的截断作用,使用C#语言开发了本研究的测试工具。

2.2 实验方法 黄土高原是我国也是世界上水土流失最严重和生态环境最脆弱的地区之一,该区域的土壤侵蚀调查也成为较为迫切的需求。鉴于前期研究积累,同时为了方便分析和理解结果含义,充分考虑沟道变化过程,本研究采用了2个试验样例。



(a) 县南沟 DEM

(b) 韭园沟 DEM

图2 实验用样区

(1)试验数据1:县南沟 DEM(图2(a))。该流域地处黄土高原中部,面积约44.85 km²,属典型黄土丘陵沟壑区,地形破碎复杂,地面起伏大,高程和坡度变幅较大。

(2)试验数据2:韭园沟 DEM(图2(b))。该流域位于陕北绥德县,平均海拔高度980.06 m,面积约100 km²,该地区梁峁起伏,沟壑纵横。

以上两个实验区,沟谷发育充分,水土流失严重,是典型黄土丘陵地貌,比较适合做地形指标提取算法的测试,试验结果能够为黄土高原侵蚀地形因子的提取提供有力参考。DEM数据是基于1:1万数字地形图(包括等高线、高程点和河流),在ANUDEM软件下生成的Hc-DEM^[24],数据分辨率为2.5 m。1:1万数字地形图由国家基础地理信息中心提供,等高距5 m,符合CH/T 1015.1-2007^[25]要求。

基于DEM提取渠系的方法众多,最大的难点在于沟头(Channel Initiation, CI)的获取,很多参数,如汇水面积、坡度或者二者结合,用于CI提取中来确定阈值,由于DEM精度、梯田等人工因素、流向算法和分辨率(沟道位置可能不止一个栅格或者小于一个栅格)的影响,而水文分析(汇水)又需要对地形进行一定的预处理(洼地填充等),因此沟道网络存在一定的误差。如何确定阈值不是本文研究的部分,本文通过最常规的方法,通过Google Earth软件下载相关区域和年份的谷歌地图影像数据,选择部分可下载的高清(20级)影像对清晰可见的沟头进行手工标注,作为阈值选择的参考标准,县南沟共标注位置25个,韭园沟共标注位置30个。为了清晰显示DEM、沟道网络与标注点的特征,采用灰度等级0~255,太阳方位角取值315;太阳高度角取值45°的晕渲值(HillShade),套和提取的沟道结果与Google影像,剪切部分结果如图3所示。为了确定更加合适的沟道阈值,对手工标注位置与不同汇水面积阈值位置的距离进行统计均方根误差(Root Man Square Error, RMSE)来确定最合适的阈值。RMSE最小值则为阈值设定最接近实际值的阈值,其公式如式(3)所示;

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\sqrt{(x_i \times d - x_c \times d)^2 + (y_i \times d - y_c \times d)^2} \right)^2}{n}} \quad (3)$$

式中: (x_i, y_i) 为设定相应阈值后的沟头位置, (x_c, y_c) 为手工标记的沟头坐标位置, d 为栅格尺寸。式(3)可改写为:

$$RMSE = d \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} \right)^2}{n}} \quad (4)$$

当阈值点超过标定点时,称为正误差,当阈值点未达到标定点时,称为负误差。依据前期研究成果^[24-25],根据沟道阈值变化情况,按照表1的阈值间隔,统计坡长平均值和最大值,分别进行测试:①根据标注沟道位置,测试找到合理阈值提取沟道网络;②保持坡度截断条件不变,阈值变化对坡长平均值的影响;③保持坡度截断条件不变,阈值变化对坡长最大值的影响;④对比沟道阈值

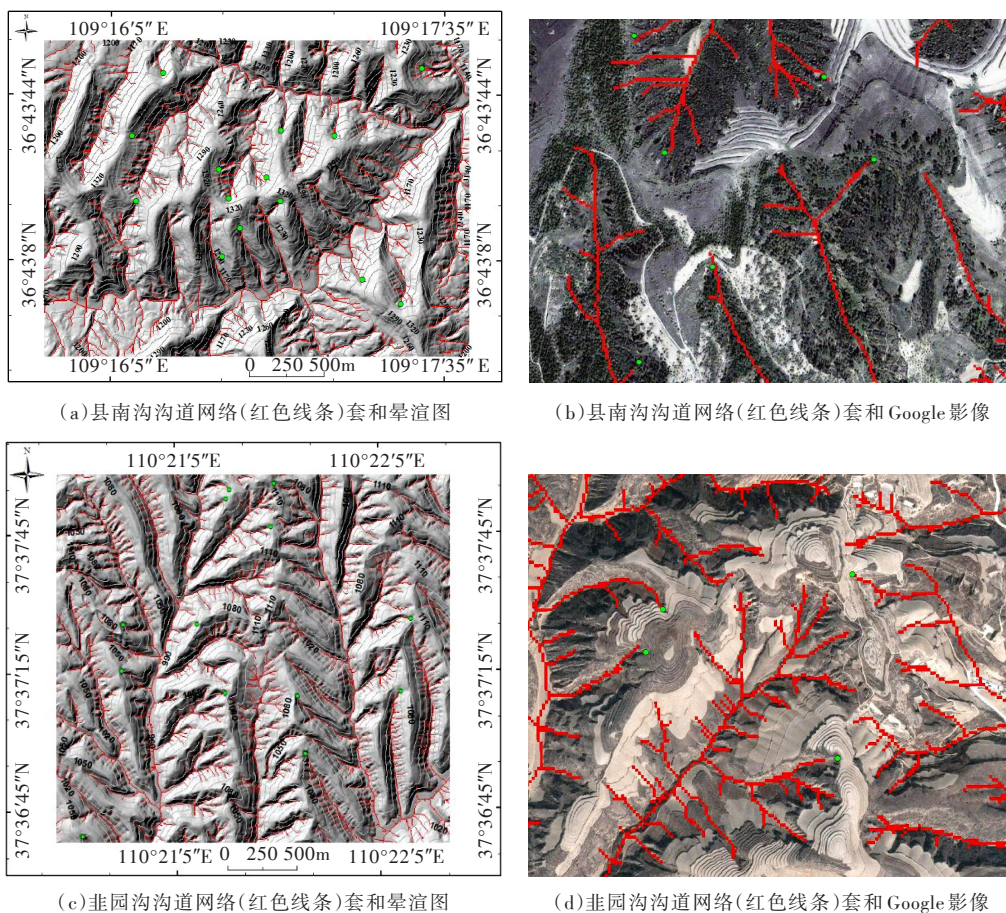


图3 标注点(绿色原点)、沟道网络(红色线条)套和晕渲图和 Google 影像的结果

对坡长影响的方面。为了检验影响情况，采用 Canoco 5 的主成分分析方法(PCA)进行评估^[26]。

3 结果与分析

3.1 沟道阈值选择 不同河网阈值和沟头位置的

均方根误差(RMSE)如图4所示，阈值的变化无法使得所有标注沟头重合，平均最小误差均超过两个以上栅格的距离。

表1 不同阈值范围下的样点间隔

范围/m ²	阈值间隔/m ²
< 2000	100
2000~10000	500
10000~20000	2000
>20000	5000

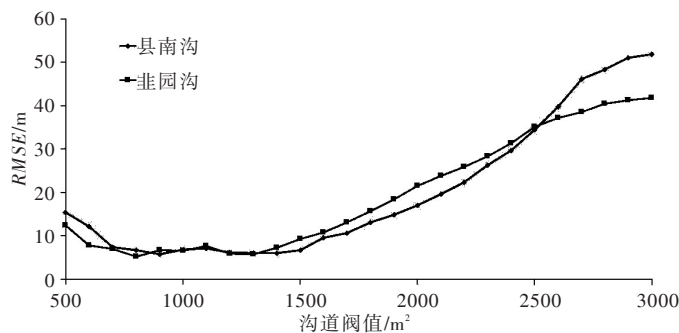


图4 不同沟道阈值的 RMSE

县南沟最小阈值出现在汇水面积 900 ~ 1 500 m² 范围，在这一范围内，随着阈值变大，部分超过标注沟头的沟道变短，逐渐接近标注点，存在正负误差，因此河网阈值在此处的变化并不显著。在小于 900 m² 部分，误差主要以负误差为主，在 1 500 m² 后误差主要是正误差，1 500 ~ 2 600 m² 误差增长迅速，阈值大于 2 600 m² 部分沟道分支消失，该部分的误差主要是标注点到上一级沟道网络的距

离, 因此误差增长不大。阈值超过 3 000 m²后大部分沟道分支消失, 本文不再进行进一步的比较。该区域汇水面积超过 900 m²的栅格约占 1.8 %。

韭园沟最小误差阈值出现在汇水面积 700 ~ 1 400 m²范围, 与县南沟情景类似, 在这一范围内, 存在正负误差。在小于 700 m²部分, 误差主要以负误差为主, 在 1 400 m²后误差主要是正误差, 1 500~2 600 m²误差增长迅速, 阈值大于 2 500 m²部分沟道分支消失, 阈值超过 3 000 m²后大部分沟道分支消失。该区域汇水面积超过 900 m²的栅格约占 2.1 %。

通过误差分析与 Google 影像的对比, 可以看到, 位于黄土高原的两样区, 沟壑纵横, 汇水集中过快, 在较小的阈值范围内出现沟头。本文选择 900 m²和 700 m²分别作为县南沟和韭园沟的沟道阈值。

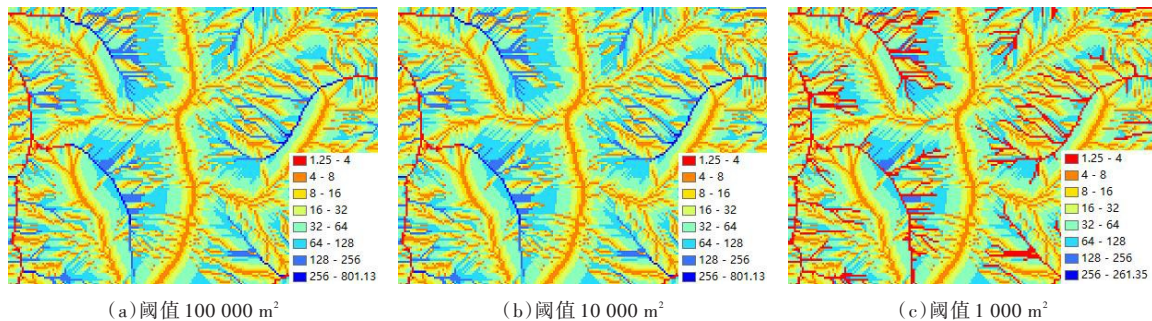


图5 不同阈值下的坡长提取结果(县南沟)

3.2 沟道截断阈值对坡长平均值的影响 县南沟流域, 不同阈值情况下, 坡长变化情况如图 5 所示, 三幅图中, 坡长沿着坡面逐渐增加, 进入沟道, 满足截断条件, 坡长不再累计。随着沟道阈值的减少, 沟头位置向前延伸, 坡长最大值减小。坡长平均值与沟道阈值的统计关系如图 6 所示(黑色曲线, 为方便说明, 沟道阈值只显示到 20 000 m²), 在汇水面积 10 000 m²左右, 坡长平均值的增长趋势变化明显, 说明: ① 阈值 ≤ 10 000 m²时, 随着该值的增加坡长急剧增加, 在该情况下平均坡长受阈值影响较大, 但增长趋势明显变缓。汇水面积阈值 ≤ 900 m²时, 坡长平均值增加迅速, 汇水面积在 900 ~ 10 000 m²之间时, 坡长平均值增加逐渐变缓, 和沟道阈值对比, 可发现, 此时大量沟道出现, 坡面漫流开始表现为汇水, 但汇水面积 ≤ 900 m²的单元格占样区总栅格 98.2 %, 沟道部分所占面积过小, 对坡长平均值影响下降, 平均值增加变缓, 汇水面积 ≤ 10 000 m²的单元格约占 99.2 %, 且平均坡长小于 40 m; ② 当汇水面积 > 10 000 m², 随着汇水面积阈值增加, 沟道所占比例越来越少, 使得坡长变化更加缓慢, 在该情况下, 平均坡长受阈值的影响微乎其微。

韭园沟流域, 坡长平均值与沟道阈值的统计关系如图 6 所示(灰色曲线), 与县南沟的统计结果变化规律类似, 但在汇水面积 9 000 m²左右, 坡长平均值的增长趋势变化明显, 说明: ① 阈值 ≤ 9 000 m²时, 随着该值的增加坡长急剧增加, 在该情况下平均坡长受阈值影响较大。汇水面积阈值 ≤ 700 m²时, 坡长平均值增加迅速, 汇水面积在 700 ~ 9 000 m²之间时, 坡长平均值增加逐渐变缓。汇水面积阈值为 9 000 m²时, 99.2 % 的单元格坡长小于 36 m; ② 当汇水面积 ≥ 9 000 m², 随着汇水面积的增加, 坡长变化缓慢, 在该情况下, 平均坡长受阈值的影响微乎其微。

为了进一步分析两个研究区沟道阈值、汇水面积和坡长平均值之间的关系, 统计不同阈值条件下的平均坡长相对于对应阈值间隔下的上一阈值的平均坡长变化率, 如图 7 所示。说明: ① 坡长平均值的变化率受阈值影响较大, 随着阈值增加, 平均坡长增长率逐渐下降, 在 1 000 m²前后变化趋于平稳; ② 在小于 1 000 m²的情况下, 每一个步长, 平均坡长的变化率较高, 这与研究区沟道较密集有一定关系; ③ 与沟道阈值对比, 县南沟沟道阈值在 900~1 500 m²的坡长平均值变化率在 3.93 % ~ 4.81 % 之间, 韭园沟沟道阈值在 700 ~ 1 400 m²之间的坡长平均值变化率在 3.91 % ~ 4.80 %, 两个样区在沟道阈值、坡长平均值的变化上趋势一致, 但各有特点, 在坡长平均值的变化率上与各自标注的阈值基本吻合, 在无法确定合适的阈值时, 当坡长平均值的变化率下降至 4 % 左右, 可作为沟道网络的阈值。

3.3 沟道截断阈值对坡长最大值的影响 不同阈值情况下, 坡长最大值变化情况如图 8 所示, 县南

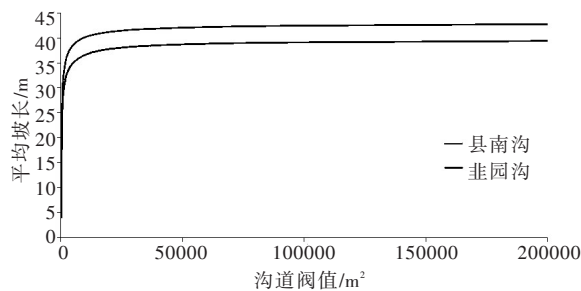


图6 沟道截断阈值对坡长平均值的影响

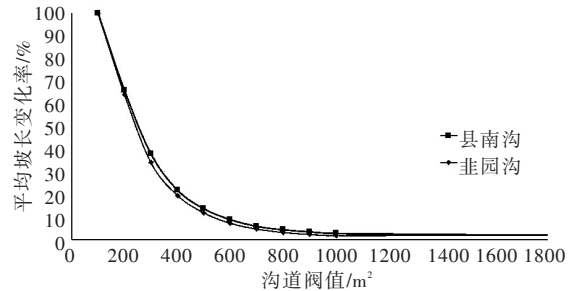


图7 平均坡长变化率与汇水面积阈值关系

沟流域(黑色曲线),随着沟道阈值增加,沟道截断位置不断延伸,坡长累计,导致坡长最大值不断增大,但增大的趋势逐渐变缓,同时由于阈值统计变化步长的原因,最大值统计在部分阈值区域出现阶梯式跳跃。

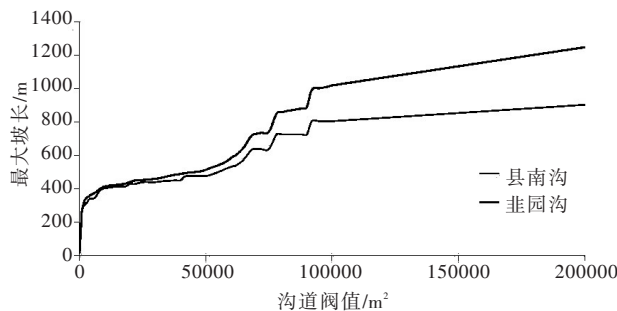


图8 沟道截断阈值对坡长最大值的影响

韭园沟流域(灰色曲线),坡长变化趋势与县南沟类似,尽管平均值低于县南沟,但最大值高于县南沟,参照标注的沟头位置,韭园沟的汇水面积阈值较低,较早出现沟头,因此坡长较早出现大值。

最大值统计结果图8与图5相对比,坡长最大值能反应地形基本情况,与沟道阈值的大小相关,沟壑越密集,沟道阈值越小,大值出现的则越早。与平均坡长结果的表现类似,坡长最大值的生长在1000 m²的阈值附近,增长趋势开始变缓,这与标注的沟道阈值位置基本吻合。随着沟道阈值的增加,坡长沿沟道增长,但沟道点数量远远少于坡面点数量,因此坡长最大值的的增长趋势比坡长平均值的的增长趋势更加显著。

3.4 阈值对坡长最大值和平均值PCA分析 为了检验不同区域下,沟道阈值对坡长最大值和平均值的影响,分别将不同区域(标定的阈值,阈值的大小可反映沟壑密集的情况)和不同沟道阈值作为输入因子,对应的平均坡长和最大坡长作为输出结果,输入Canoco 5软件中,进行PCA分析(图9)。图9(a)中,坡长(Sloplen)与不同区域(area)、沟道阈值(threshol)箭头在同一方向,表明相关关系为正相关,即随着标定阈值、沟道网络阈值的增大坡长平均值亦增长;同时在坐标轴上的投影长度,threshol>area,表明不同阈值对平均坡长的作用大于不同区域对平均坡长的作用,因此选择合适的阈值对坡长的研究是十分重要的。图9(b)中,最大坡长(slopelen)与不同区域(area)箭头方向相反,表明相关关系为负相关,即不同区域条件下,阈值越小最大坡长的增长越明显;与沟道阈值(threshol)箭头方向相同,表明相关关系为正相关,即随着沟道阈值的增大坡长最大值亦增长;同时在坐标轴上的投影长度,threshol>area,表明不同阈值对最大坡长的作用大于不同区域对最大坡长的作用。两个结果可以理解为:①阈值的增加导致更大的汇水面积处才会出现截断,因此无论平均坡长还是最大坡长都会增大;②由于标定的阈值能够部分地反映沟道密集的程度,因此,也可以分析为沟道越密集的区域平均坡长越短,但如果不能合理设置阈值,由于沟道汇集,更加容易出现较大的坡长。

4 结论

4.1 研究结论 (1)分布式土壤侵蚀学坡长提取结果受沟道网络阈值变化引起的截断影响主要集中在

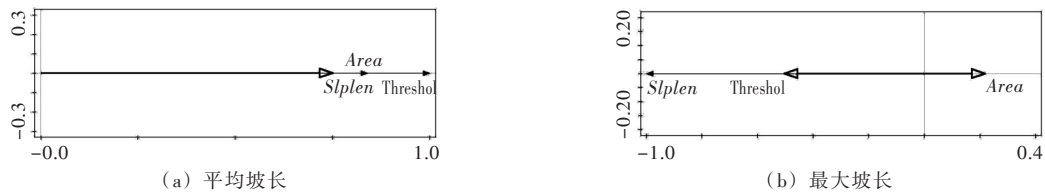


图9 不同阈值、不同区域坡长平均值和最大值的PCA分析

汇水区域，阈值设定越小，坡长截断的位置越早，因此对于复杂地形(如黄土高原)地区影响较大；(2)对于本文研究数据，两个研究区的地形复杂情况不同，沟头出现较早的地区，坡长平均值越短，但坡长最大值越长；(3)沟道阈值对坡长的影响正相关，阈值越小平均坡长越短，反之越长；(4)从坡长平均值的变化统计规律来看，在设定的步长条件下，当坡长变化率降为4%左右时与实际沟道阈值能够达到吻合。

4.2 问题与讨论 (1)本文选取的研究区主要集中在黄土高原地区，分布式侵蚀学坡长的沟截断特性，在其他区域的表现如何，需要进一步研究。(2)不同分辨率下，沟道截断参数该如何设置是侵蚀模型应用遇到的较棘手的问题之一，亟待进一步研究解决。(3)随着梯田等水土保持措施在黄土高原地区的大面积展开，这种突变地形对地形因子的影响亟待研究。

参 考 文 献：

- [1] 杨勤科, 郭明航, 李智广, 等. 全国土壤侵蚀地形因子提取与初步分析[J]. 中国水土保持, 2013(10): 17-21.
- [2] 施成熙, 梁瑞驹. 陆地水文学原理[M]. 北京: 中国工业出版社, 1964.
- [3] ELLISON W D. Soil erosion studies--Part I[J]. Agricultural Engineering, 1947, 28 (4): 145-146.
- [4] HICKEY R. Slope angle and slope length solutions for GIS[J]. Cartography, 2000, 29 (1): 1-8.
- [5] ZINGG A W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff[J]. Agricultural Engineering, 1940 (21): 59-64.
- [6] WISCHMEIER W H, SMITH D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning with Universal Soil Loss Equation (USLE)[M]. Agriculture Handbook 703, Washington, D C: Department of agriculture, 1978.
- [7] RENARD K G, FOSTER G R, WEESIES G A, et al. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)[M]. Agriculture Handbook 703, Washington, D C, USA, 1997.
- [8] LIU B Y, ZHANG K L, XIE Y. An Empirical Soil Loss Equation[C]// Process of 12th international soil conservation organization conference. Beijing, Tsinghua Press, 2002.
- [9] MOORE I D, WILSON J P. Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation[J]. Journal of Soil & Water Conservation, 1992, 47(5): 423-428.
- [10] DESMET P J J, GOVERS G. A GIS procedure for the automated calculation of the USLE LS factor on topographically complex landscape units[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1996, 51 (5): 427-433.
- [11] WINCHELL M F, JACKSON S H, WADLEY A M, et al. Extension and validation of a geographic information system-based method for calculating the revised universal soil loss equation length-slop factor for erosion risk assessments in large watersheds[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 63(3): 105-111.
- [12] 晋蓓, 刘学军, 甄艳, 等. ArcGIS环境下DEM的坡长计算与误差分析[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12 (5): 700-706.
- [13] van REMORTEL R D, MAICHLE R W, HICKEY R J. Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable[J]. Computers & Geosciences, 2004, 30(9): 1043-1053.
- [14] van REMORTEL R D, HAMILTON M E, HICKEY R J. Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data[J]. Cartography, 2001, 30(1): 27-35.

- [15] 杨勤科, 郭伟玲, 张宏鸣, 等. 基于 DEM 的流域坡度坡长因子计算方法研究初报[J]. 水土保持通报, 2010, 30(2): 203-206.
- [16] ZHANG H, YANG Q, LI R, et al. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor [J]. Computers & Geosciences, 2013(52): 177-188.
- [17] 张宏鸣, 杨勤科, 李锐, 等. 流域分布式侵蚀学坡长的估算方法研究[J]. 水利学报, 2012, 43(4): 437-444.
- [18] 张宏鸣, 杨勤科, 李锐, 等. 基于 GIS 和多流向算法的流域坡度与坡长估算[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 159-164.
- [19] 张宏鸣, 杨勤科, 刘晴蕊, 等. 基于 GIS 的区域坡度坡长因子提取算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(9): 246-248.
- [20] 罗红, 马友鑫, 刘文俊, 等. 采用最大溯源径流路径法估算 RUSLE 模型中地形因子探讨[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1185-1189.
- [21] ZHANG H, YAO Z, YANG Q, et al. An integrated algorithm to evaluate flow direction and flow accumulation in flat regions of hydrologically corrected DEMs[J]. Catena, 2017(151): 174-181.
- [22] 刘学军, 晋蓓, 胡加佩, 等. 格网 DEM 上径流长度计算误差的定量分析[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2012, 37(7): 757-761, 779.
- [23] ORLANDINI S, MORETTI G, GAVIOLI A. Analytical basis for determining slope lines in grid digital elevation models[J]. Water Resources Research, 2014, 50(1): 526-539.
- [24] YANG Q, MCVICAR T R, van NIEL T G, et al. Improving a digital elevation model by reducing source data errors and optimising interpolation algorithm parameters: An example in the Loess Plateau, China[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2007, 9(3): 235-246.
- [25] 中华人民共和国测绘行业标准. CH/T 1015.1-2007 基础地理信息数字产品 1:10000 1:50000 生产技术规程 [S]. 北京: 国家测绘局, 2007.
- [26] ŠMILAUER P, LEPSŠ J. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO 5[M]. Cambridge university press, London, UK, 2014.

Effect of channel networks cutoff on extraction of distributed erosion slope length

ZHANG Hongming¹, YANG Qinke², WANG Meng¹, JIN Bei¹, Wang Lei², LI Rui^{1, 3}

(1. Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Department of Urbanology and Resource Science, Northwest University, Xi'an 710069, China;

3. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling 712100, China;)

Abstract: Topographic is one of the important factors affecting soil erosion. Distributed soil erosion slope length is an important parameter to evaluate terrain. Associated with erosion process, accumulation of distributed soil erosion slope length should be stopped once cut off by channel. Channel head position is difficult to define, so threshold is always used to estimate channel networks. It is necessary to study the impacts of channel networks and different thresholds on slope length, and find the way to set a reasonable threshold in the case that the actual channel head cannot be determined. In this paper, the DEM data of Xiannangou and Jiuyuangou catchments in the Loess Plateau are used to extract slope length under different thresholds. The results show that the impact of channel cutoff on the maximum slope length is greater than that on the averages of the extracted slope length, and the impact of the different thresholds on the slope length is greater than that of the different areas. The threshold of channel cutoff in Loess Plateau area can be set as 4% of the average value of the slope length.

Keywords: soil erosion; USLE; topographic factors; distributed erosion slope length; channel cutoff

(责任编辑: 祁 伟)